云 南 植 物 研 究 1987；9（1）：89—95
Acta Botanica Yunnanica

不同海拔地区种植的水稻地上部干物质的生产和分配

李存信　林德辉

（中国科学院昆明植物研究所，昆明）

摘要　根据1983—1985年"高原水稻高产栽培的生理生态规律研究"中低热的元江（海拔400米左右）、温凉的昆明（约1900米）和冷凉的丽江（约2400米）的资料，以六个处理、十八个小区、三年总平均值，比较了不同海拔地区种植的水稻中地上部干物质生产和分配的总趋势。主要结果如下：

1.全生育期总的干物质生产量以温凉地区最高，低热地区居中，冷凉地区最低。

2.抽穗前干物质生产速率和齐穗期干物重占黄熟期干物重的比例随海拔降低而增加；抽穗期至黄熟期干物质生产速率，以温凉地区最高，低热地区居中，冷凉地区最低，但低热地区低于前期，高海拔地区高于前期，不过冷凉的丽江增加的更多。

3.抽穗前（旗叶完全展开后）叶干重占当时植株总干重的比例，随海拔升高而降低。

4.抽穗期至黄熟期的次库(茎＋叶鞘）干重的改变，不同海拔地区种植的水稻表现不同：低热地区减重，温凉地区稍增，冷凉地区明显增加。

5.与高海拔地区种植的水稻相比，在黄熟期低海拔地区的有较高的穗重/总重和穗增重/总增重的比例。另外低海拔地区的穗增重超过总增重。结实率和谷/草比例均随海拔增高而减低。

关键词　水稻；干物质生产量；干物质生产速率；干物重

由于干物质生产代表作物的总生产力，以干物重为基础比较作物的生产力就成了一个最普通的方法。对水稻的干物质生产力曾经就不同品种[1，2，3]、不同季节[4]和不同环境[5]作过不少研究。为了查明光合作用产物分配和运输也用过 $^{14}CO_2$ 和人工气候室[6，7]。但是针对不同海拔高度地区种植的水稻的干物质生产和分配却未见系统研究。而不同海拔高度对环境条件的影响和不同纬度的影响是大相径庭的[8]。在云南，从几百公尺海拔的低热地区一直到二千多公尺海拔的冷凉地区均广泛种植水稻。因此研究不同海拔地区水稻干物质的生产和分配对云南水稻生产有特殊意义。实验是在田间条件下进行的，得到的结果只能在总体上反映综合因素的影响、比较不同海拔地区种植的水稻干物质生产和分配的总趋势。本文将仅就干物质生产和分配本身讨论它们在各时期的表现和内在联系及其生理学基础。

1986-02-05收稿

环境、材料和方法

本实验在云南元江、昆明和丽江三地进行。元江坝子海拔400米左右，系干热河谷地区，种双季稻和一季冬菜，我们种的是早稻，前作为菜，土壤为微酸性粘土，生长季温度颇高（日均温26.0°C），生长期大部份时间光照较好（每日平均日照时数6.7）。昆明为温凉的高原平坝，土壤为酸性红壤，前作为蚕豆，海拔1900米左右，生长期平均日均温19.2°C，日照时数每天5.1小时。丽江海拔2400米左右，为冷凉地区，土壤为沙质壤土，前作为小麦，生长期日平均温度16.7°C，日照时数平均每天5.2小时。三地均为人工灌溉供水。

元江和昆明均用"滇榆一号"，丽江用当地耐寒品种"黑选五号"。

小区面积一分，重复三次，栽插密度2×5（寸），每穴三苗。基本苗18万/亩，三地相同。

按不同生育期采样，并分为叶、茎、鞘、穗和枯死部分，分别在85°C的烘箱中烘干48小时称重。拔节前茎、叶鞘一起处理称重，拔节后分开。叶面积用系数法计算，即长×宽×0.75。

碳水化合物按"蒽酮法"分乙醇可溶性糖和淀粉两部份测定。

光环境用美国Lambda仪器公司产LI-188B型万能照度计测量。

结果和讨论

图1表示三地种植的水稻其总干物重累积的动态。由图1可以看出，在前期低海拔地区有较快的干物质增长率，特别是秧田期，元江平均每日每平方米增加5克以上，而昆明的不到1克，丽江的更低，移栽后一直到拔节期，在低海拔地区种植的水稻仍维持比高海拔地区高的干物质生产率(表1)。造成这种情形的作物本身的原因，在于此期干物质的分配。表1表明在孕穗期叶干重占总干重的比例，低海拔地区种植的水稻远高于高海拔地区的。主要同化器官叶子的迅速发展，使其干物质生产十分旺盛[9]。低热地区的这种前期旺盛的干物质生产，就环境因子而言，则是较高的温度促使光合产物较多地分配于叶子所致。Sato[1, 2]的 $^{14}CO_2$ 实验和控制环境中的实验都证实了这一点。

从图1和表1还可看出齐穗期总干物重占黄熟期总干物重的比例随海拔升高而降低。这种情形颇似同一地区生长期不同的品种所表现的差异[10]。因为同一品种在不同日均温下生长时，低的日均温下种植的，为满足其积温要求，生长期必定延长。我们用的滇榆一号在元江和昆明，其全生育期就相差六十天左右（图1）。就干物质生产本身来看，这是由于低海拔地区水稻抽穗后干物质生产速率下降，而高海拔地区的水稻干物质生产反而增高（表1）所致，而且海拔越高，后期干物质生产率增加越高。低热地区的这种情形正是在长期高温下，光环境恶化和呼吸消耗增高反而不利于群体干物质生产[9]的表现，而高海拔地区种植的水稻在后期既保留了相对较高的叶面积，并具备有利的光环境，构成其后期较高的干物质生产率的基础。

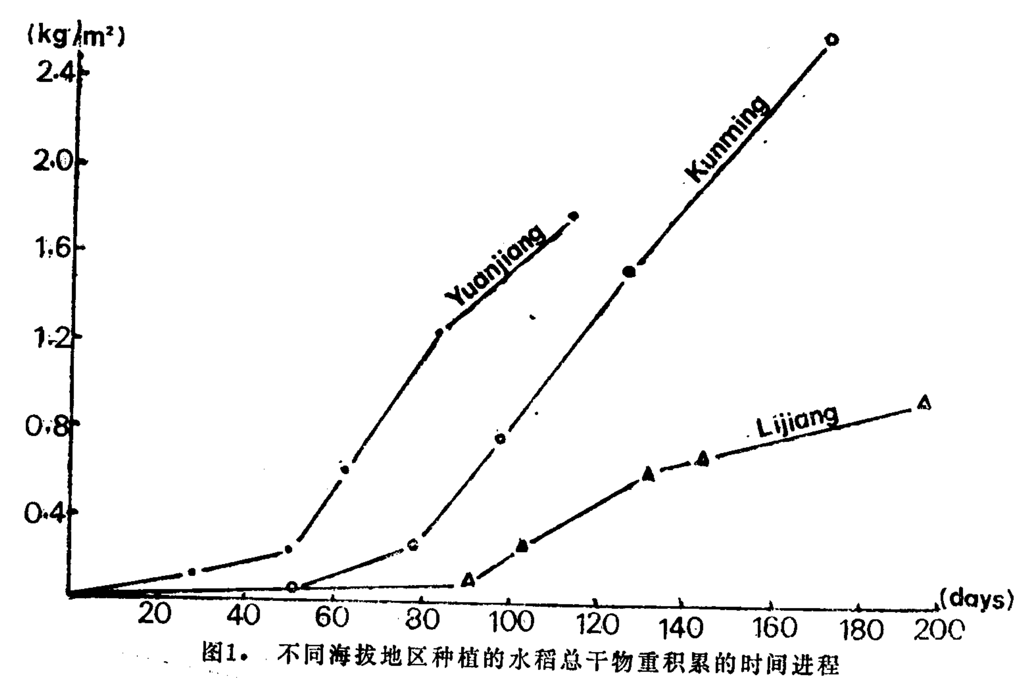


图1．不同海拔地区种植的水稻总干物重积累的时间进程

Fig. 1 Time course of accumulation of total dry-matter weight of rice grown at different altitude localities.

表1．不同海拔地区种植的水稻干物质的生产率(克/米^{2}.天)和抽穗前分配比例

Table 1. Dry-matter production rate (g. m^{-2}. day^{-1}) and dry-matter partitioning ratio before heading of rice grown at different altitude localities.

项　目 Items	元　江 Yuanjiang	昆　明 Kunming	丽　江 Lijiang
孕穗期叶干重（%） Leaf dry weight at the booting stage (%)	42.8	29.4	21.5
移栽至抽穗干物质的生产率 Dry-matter production rate from transplant to heading	22.15	19.56	12.35
抽穗至黄熟干物质的生产率 Dry-matter production rate from heading to ripeness	18.57	21.40	15.73
齐穗期干重/黄熟期干重(%) Dry weight at full heading time/dry weight at stage of yellow ripeness (%)	68.4	62.4	50.0

在图 2 中我们表示的是次库（茎＋叶鞘）干物质累积随时间的变化。可以看出，不同海拔地区种植的水稻所表现的最明显的差异在于抽穗期到黄熟期的时期中，低海拔地区种植的水稻次库干重下降，而高海拔地区的增加，并且海拔越高增加的比例越高，次库重量的这种变化与其齐穗期干物重对黄熟期干物重的比例和抽穗前干物质生产率关系很大（表 1），即前期叶重占的比例越大，其干物生产率也高，前期有较多的干物累积，使之占黄熟期的比例也越大。就气候条件而言，则是不同海拔的温度状况所致，低海拔地区持续的高温，既加速了碳水化合物的运转[6]，也增大了其呼吸的消耗[9]，以致次库贮物被运出和消耗，从而减重。而高海拔地区较低的温度不但减弱了水稻的呼吸

作用，而且阻止了同化物的运输，后期又有较高的干物质生产率（表1），致使碳水化合物在茎和叶鞘中积累了起来[1]。

为了查明此期内干物质的去向和对籽粒充实的影响，我们计算了黄熟期的穗重/总重、穗增重/总增重、和次库重量改变占齐穗期次库的干重比例以及最终的谷/草比例，结果列于表2。

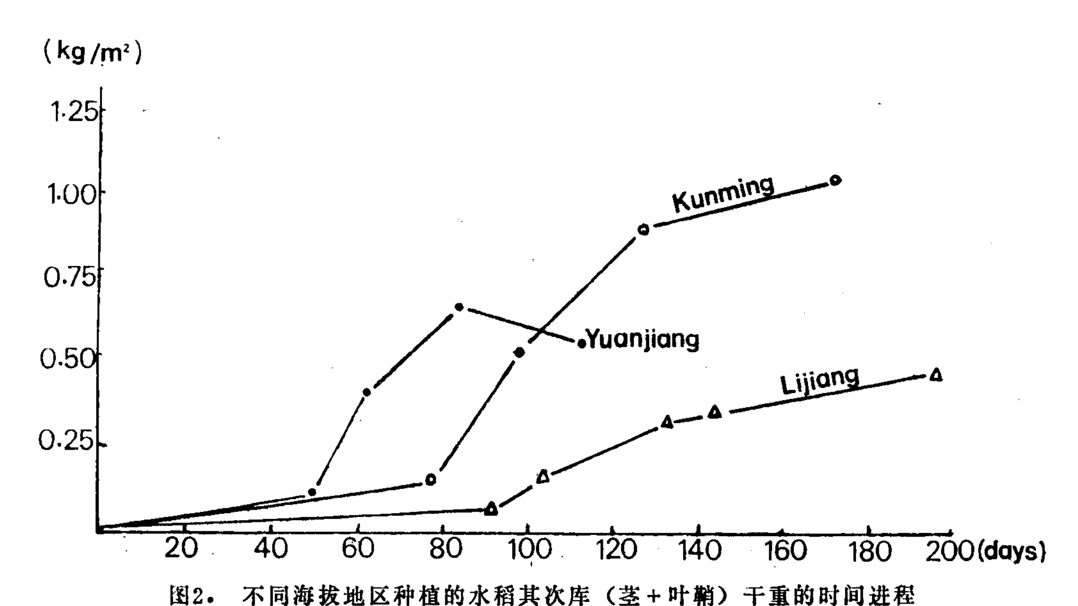


图2. 不同海拔地区种植的水稻其次库（茎+叶鞘）干重的时间进程

Fig. 2 Time course of dry weight of secondary sink (leaf + leaf sheath) of rice grown at different altitude localities

表2. 不同海拔地区种植的水稻后期的光环境和叶面积指数及干物质分配

Table 2. Light environment, leaf area index, and dry-matter partitioning during later growth stage of rice grown at different altitude localities.

项 目 Items		元 江 Yuanjiang	昆 明 Kunming	丽 江 Lijiang
透光（%） Transmitted light (%)	旗叶下 under flag leaf	31.3	45.6	53.2
	底 部 foot	4.68	17.20	24.30
叶面积指数 Leaf area index		6.18	8.33	——
穗重/总重（%） Ear weight/total weight (%)		49.0	42.1	39.0
穗增重/总增重（%） Ear weight increase/total weight increase (%)		127.2	91.1	89.5
次库改变（%） Changes in secondary sink (%)		−13.7	9.3	26.0

由表2可以看出，黄熟期穗重占总重的比例和齐穗期到黄熟期中穗增重对总增重的比例，均与次库重量的改变有很大的关系：随海拔增高次库由减重变为增重，而且海拔越高增重越高，致使穗干重占总干重的比例减小；而且在低热的元江种植的水稻中穗增重超过总增重，在温凉地区种植的水稻中穗增重稍低于总增重，而丽江（冷凉地区）的水稻中更低些。Cock 和 Yoshida〔6〕1972年证明：在菲律宾干季种植的水稻贮存的碳水化合物对籽粒的碳水化合物的贡献是24—27%；而Wada〔7〕1968年发表的资料指出日本种植的水稻"穗重取决于抽穗后生产的干物质"。就在日本而言，Weng 等〔3〕在日本西南暖地作的实验证明：抽穗前贮存的碳水化合物对籽粒的充实比抽穗后生产的碳水化合物更有效。把这些结果作一比较则会发现都和我们的结果颇有类似之处。而且Yoshida 和Ahn〔11〕在热带作的不同季节水稻碳水化合物代谢中也指出累积的碳水化合物对籽粒碳水化合物的表观贡献在湿季比干季低的多，这恐怕也是由于干季温度比湿季较高的原因所致。

Sasahara 等〔12〕在不同品种的比较中曾提出抽穗前形成的库大小影响同化物运转，即库越大同化物运转越快，并造成较多的最终穗重。我们计算了三地抽穗期以叶干重为基础的库/源比例（粒数/克叶干重）(表3)。表3表明随海拔增高，库/源比明显增加。这种情况和 Takeda〔4〕所提出的在冷地库容是满足的而暖地库/源比较低的说法是一致的。这种高海拔地区较大的库/源比例看来是不会限制碳水化合物向穗运转的。而且由表3中所列的最终结实率也可看出，随海拔增高结实率明显下降，看来其库容并未被充分利用主要是由于灌浆期较低的温度对在抽穗前累积于次库的碳水化合物向籽粒转运的不利影响所致，较低气温的上述影响也可由从齐穗期到黄熟期茎和叶鞘中淀粉含量的改变看出来（表3）；低热的元江减少49.5%，温凉的昆明减少1.36%，而冷凉的丽江增加35.9%。

表3. 不同海拔地区种植的水稻齐穗期库/源比例、茎+鞘淀粉含量、结实率和谷草比例

Table 3. Sink/source ratio, starch content of stem + leaf sheath, seed setting percentage and grain/straw ratio at the full heading time of rice grown at different altitude localities.

项目 Items		元江 Yuanjiang	昆明 Kunming	丽江 Lijiang
库/源(粒数/克叶干重) Sink/source (number of grain/g. leaf dry weight)		137	204	284
茎+鞘淀粉含量（%） Starch content of stem + sheath (%)	齐穗期 Full heading time	5.35	16.85	7.15
	黄熟期 Stage of yellow ripeness	1.70	16.62	9.72
	齐穗期减黄熟期 Full heading time-stage of yellow ripeness	3.65	0.23	-2.57
	占齐穗期 make up full heading time	49.50	1.36	-35.90
结实率（%）Seed setting percentage (%)		87.8	70.1	63.7
谷/草 Grain/straw ratio		0.92	0.42	——

由上述资料来看，我们认为，在高海拔地区种植的水稻尚有相当大的库容可资利用，如何减轻或避免这些地区的水稻在成熟期较低温度对光合产物（当时的和抽穗前累积于次库的）向穗运转的不利影响，从而进一步改善高海拔地区的水稻生产，可能是一个有待解决的问题。

参 考 文 献

1 Sato K. 日作记 1974; 43:410—415
2 Sato K. 日作记 1974; 43:402—409
3 Weng J H, Takeda T, Agata W, Hakoyana S. 日作记 1982; 51:500—509
4 Takeda T, Dha M, Agata W. 日作记 1984; 53:12—21
5 Murata Y, Productivity of rice in different climatic regions of Japan. In: Climate and Rice. IRRI. 1976:449—470
6 Cock J H, Yoshida S. 日作记 1972; 41:226—234
7 Wada G. 日作记 1968; 37:394—398
8 Jones H G. Plants and microclimate. Cambridge University Press, 1983
9 县 和一，（户苅义次主编）薛德榕译．作物的光合作用与物质生产．北京：科学出版社，1979:330—336
10 Takeda T, Oha M, Agata W. 日作记 1983; 52:299—306
11 Yoshida S, Ahn S B. *Soil Sci Plant Nutrition* 1968; 14:153—162
12 Sasahara T, Takahashi M, Kambayashim. 日作记 1982; 51:18—25

DRY-MATTER PRODUCTION AND PARTITIONING IN THE AERIAL PART OF RICE GROWN AT DIFFERENT ALTITUDE LOCALITIES

Li Cunxin, Lin Dehui

(Kunming Institute of Botany, Academia Sinica, Kunming)

Abstract In this paper we used data of "the study of physiological-ecological rules on high-yielding culture of rice in the plateau", of which are obtained from the field plot experiments of rice grown at Yuanjiang (dry-heat river valley about 400 m altitude), Kunming (warm-cool plateau lake-shore about 1900 m altitude), Lijiang (cold-cool plateau area about 2400 m altitude), Yunnan, respectively, from 1983 to 1985. The total tendency of dry-matter production and partitioning in the aerial part of rice grown at different altitude localities was compared, based on the total mean value of six treatments in eighteen plots for three years. The main results are as follows:

1. With regard to total dry-matter production in the whole growth period duration, the warm-cool area is the highest, the dry-heat area is mediately, and the cold-cool area is the lowest.

2. Both the dry-matter production rate before heading and the proportion of dry-matter weight at full heading time making up dry-matter weight at the stage of yellow ripeness increase as decreasing altitude. In the dry-matter production rate from the heading stage to the stage of yellow ripeness, the warm-cool area is the highest, the dry-heat area is mediately, and the cold-cool area is the lowest, however, the dry-heat area is lower than that before heading stage, on the contrary, the high-altitude area is higher than that before heading stage, and what is more, in the cold-cool Lijiang area an increase in dry matter is still more.

3. Before heading stage the proportion of the leaf (after flag leaf full expanded) dry weight making up the then total dry weight of plant decreases with the increasing altitude.

4. In rice grown at different altitude localities from the heading stage to the stage of yellow ripeness, the dry weight of secondary sink (stem and leaf sheath) exhibited the differences: the dry-heat area decreases, the warm-cool area slightly increases, and the cold-cool area obviously increases.

5. As compared with rice grown at high-altitude localities, at the stage of yellow ripeness the low-altitude area has a higher ear weight/total weight and ear weight increase/total weight increase ratio. In addition, at the low-altitude area the ear weight increase of rice is over and above the total weight increase. Both the seed setting percentage and grain/straw ratio decrease as increasing altitude.

Key words Rice; Dry-matter production; Dry-matter production rate; Dry-matter weight